



## Studi Oksidasi Etanol Menjadi Asetaldehida Menggunakan Katalis Molibdenum Oksida Berpenyangga $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , dan $\text{SiO}_2$

HUSNI HUSIN<sup>1</sup> DAN FIKRI HASFITA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Darussalam, Banda Aceh - 23111, Indonesia

Telepon: 0651-7412973, Fax: 0651-52222, e-mail: husni\_husin2002@yahoo.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh Lhoekseumawe

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penyangga  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , dan  $\text{TiO}_2$  pada  $\text{MoO}_3$  terhadap kinerjanya dalam oksidasi etanol menjadi aetaldehida. Katalis disiapkan dengan metode impregnasi dengan kandungan  $\text{MoO}_3$  of 25% dan 50%. Hasil identifikasi dengan *X-ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa komponen katalis terdiri dari kristal  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ . Reaksi uji kinerja katalis dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap, beroperasi pada 150-300°C dan tekanan atmosfer. Produk dianalisis menggunakan gas kromatografi GC 8A buatan Shimadzu dengan kolom porapak Q 80/100 mesh. Konversi etanol tertinggi diperoleh 83% menggunakan katalis 50% $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$ . Selektivitas aetaldehida tertinggi dihasilkan 96% menggunakan katalis 25% $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ . *Yield* aetaldehida tertinggi dicapai 51% menggunakan katalis 25% $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$ . Copyright © 2006 Teknik Kimia UNSYIAH

*Kata kunci:* katalis  $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , impregnasi, oksidasi etanol, aetaldehida

### PENDAHULUAN

Aetaldehida merupakan salah satu senyawa yang banyak digunakan dalam berbagai proses industri kimia. Sebagian besar aetaldehida digunakan sebagai bahan baku pembuatan pentaeritritol dan asam asetat. Pentaeritritol merupakan bahan baku utama untuk pembuatan alkid resin yang selanjutnya akan menjadi bahan baku utama pembuatan cat kayu dan cat besi (Anonymous, 1999). Sedangkan asam asetat banyak digunakan sebagai pelarut dan bahan baku industri polimer.

Dewasa ini kebutuhan akan pentaeritritol dan asam asetat tiap tahun di Indonesia mencapai masing-masing 10.000 ton dan 20.000 ton (Anonymous, 1999). Seiring dengan kebutuhan pentaeritritol dan asam asetat maka kebutuhan akan aetaldehida juga akan semakin meningkat. Untuk memenuhi seluruh kebutuhan

asetaldehida di Indonesia saat ini semua masih berasal dari impor.

Produksi aetaldehida secara industri dewasa ini dinilai belum ekonomis karena biaya produksi relatif masih mahal. Salah satu cara untuk menekan biaya produksi yaitu dengan menggunakan katalis yang dapat memberikan konversi dan selektivitas yang memadai. Katalis merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam reaksi, karena pemakaian katalis yang aktif dan selektif dapat menjadikan suatu proses lebih ekonomis dan lebih kompetitif.

Usaha-usaha untuk mendapatkan proses dan mencari katalis dalam pembuatan aetaldehida terus dilakukan oleh para peneliti di dunia. Proses konvensional ditempuh lewat jalur petrokimia. Tetapi, pada keadaan normal konversi yang diperoleh relatif rendah dan perolehan produknya juga rendah. Katalis yang digunakan adalah perak yang harganya relatif mahal serta konversi dan

selektivitasnya juga masih rendah. Proses ini secara komersial kurang menguntungkan karena banyak membutuhkan biaya dalam proses pemisahan reaktan (Filho & Domingues, 1992).

Rute lain untuk memproduksi asetaldehida telah diusulkan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan etanol sebagai umpan. Diperkirakan proses ini dapat menjadi suatu prosedur yang lebih baik daripada proses konvensional, terutama dalam hal harga yang relatif murah jika didapatkan metodologi yang cerdas (kondisi operasi, katalis, dan medium pereaksi).

Zhang dkk., 1995, mengusulkan suatu proses alternatif untuk menghasilkan asetaldehida melalui reaksi oksidasi etanol dengan udara. Proses ini menggunakan katalis berbasis MoO<sub>3</sub> dalam rentang temperatur 180–240°C dan tekanan atmosfer. Dewasa ini penelitian mulai banyak perhatian untuk mendapatkan katalis. Zhang mengisyaratkan bahwa katalis MoO<sub>3</sub> akan lebih selektif jika dipadukan dengan penyangga. Penggunaan penyangga dapat memperbesar distribusi luas permukaan fasa aktif sehingga kontak antara reaktan dengan fasa aktif katalis semakin sempurna.

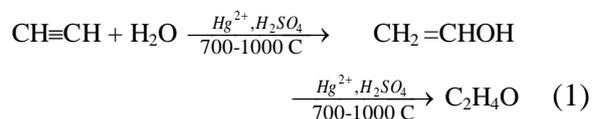
Husin dkk (2002) telah melakukan studi pembuatan katalis MoO<sub>3</sub> yang digabung dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Uji kinerja katalis dalam reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida telah dilakukan oleh Mairiza dan Husin, (2002). Hasil penelitian itu menunjukkan hasil yang menjanjikan, yaitu konversi sekitar 60% dan selektivitas asetaldehida sekitar 70%.

Sebelumnya Viswanath (1982) dan Filho (1992) telah menggunakan katalis F<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (besi molibdenum oksida) untuk reaksi tersebut. Viswanath membuat katalis besi molibdenum oksida dari larutan besi nitrat dan amonium heptamolibat, sedangkan Filho menggunakan katalis F<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> komersial (Viswanath, 1982 dan Filho, 1992). Katalis besi molibdate baik dalam bentuk kompleks (F<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) maupun oksida (MoO<sub>3</sub>) sebenarnya secara

komersial saat ini digunakan dalam sintesa formaldehida (Piccoli dan Luis, 1992). Hasil penelitian itu menunjukkan bahwa katalis berbasis MoO<sub>3</sub> ternyata juga cocok untuk reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Berdasarkan fakta tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penyangga Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan SiO<sub>2</sub> pada MoO<sub>3</sub> terhadap kinerja dalam oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Benvenuti dan Gushikem (1998), melakukan percobaan dengan menggunakan katalis Fe(III) yang didispersikan pada penyangga Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan SiO<sub>2</sub> dalam oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Ternyata katalis Fe(III) terdispersi dengan baik pada penyangga membentuk senyawa FeSbO<sub>4</sub> dan Fe/Sb/SiO<sub>2</sub>. Benvenuti, dan Gushikem, (1998) juga melaporkan bahwa penggunaan katalis ini menunjukkan efisiensi yang tinggi.

Asetaldehida pertama kali dikembangkan secara besar-besaran dalam industri asetilen, melalui reaksi hidrasi sebagai berikut (Kirk & Othmer, 1994):

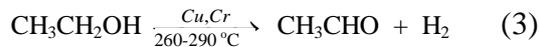


Katalis yang digunakan adalah raksa yang terlarut dalam asam sulfat pada tekanan operasi sekitar 15 psi. Proses ini dianggap tidak ekonomis karena harga asetilen yang terlalu mahal. Cara lain pembuatan asetaldehida yaitu melalui oksidasi butana dengan oksigen atau udara. Reaksi dilangsungkan pada fasa gas dengan menggunakan katalis keramik pada temperatur ± 40 °C (Kirk & Othmer, 1994).

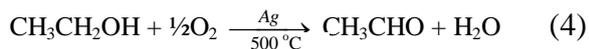


Etanol juga dapat diubah menjadi asetaldehida melalui reaksi dehidrogenasi fasa gas dengan menggunakan katalis tembaga yang diaktivasi oleh kromium.

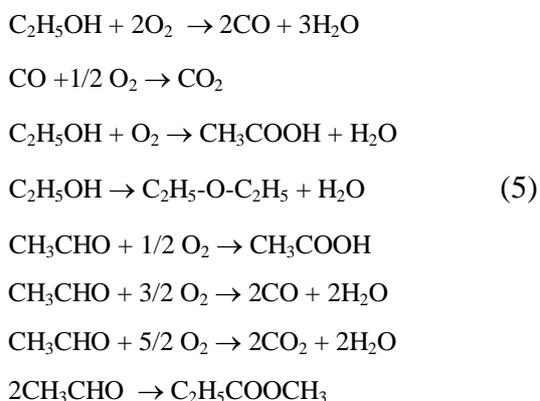
Reaksi biasanya dilangsungkan pada 260 – 290 °C dan tekanan atmosferik.



Oksidasi etanol menggunakan katalis perak atau tembaga dilangsungkan pada fasa gas dengan suhu 300 – 575 °C dan tekanan atmosfer. Reaksinya yaitu (Kirk & Othmer, 1994):



Reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida selalu diperoleh produk lain yang tidak diinginkan. Sangat dimungkinkan bahwa selain terjadi reaksi utama (oksidasi etanol) terjadi pula reaksi samping. Berdasarkan analogi dengan reaksi oksidasi metanol dengan katalis besi molibdenum oksida (Le Page, 1985), reaksi samping yang mungkin terjadi pada oksidasi etanol dengan katalis yang sama adalah sebagai berikut :



Salah satu faktor penyebab terjadinya reaksi samping adalah temperatur. Temperatur yang terlalu panas dapat menyebabkan deaktivasi katalis sehingga katalis tidak selektif lagi terhadap reaksi utama. Selain itu temperatur yang tinggi dapat menyebabkan asetaldehida mengalami dekomposisi atau oksidasi lanjut.

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa produk utama reaksi adalah asetaldehida dan air. Produk reaksi lain yang biasa diperoleh pada oksidasi etanol adalah asam asetat, gas karbon dioksida, karbon

monoksida dan etil eter. Bahkan pada kondisi reaksi yang tidak menguntungkan bisa juga diperoleh ester (etil asetat) dan hidrokarbon jenuh (etilen).

## METODOLOGI PENELITIAN

### Preparasi Katalis

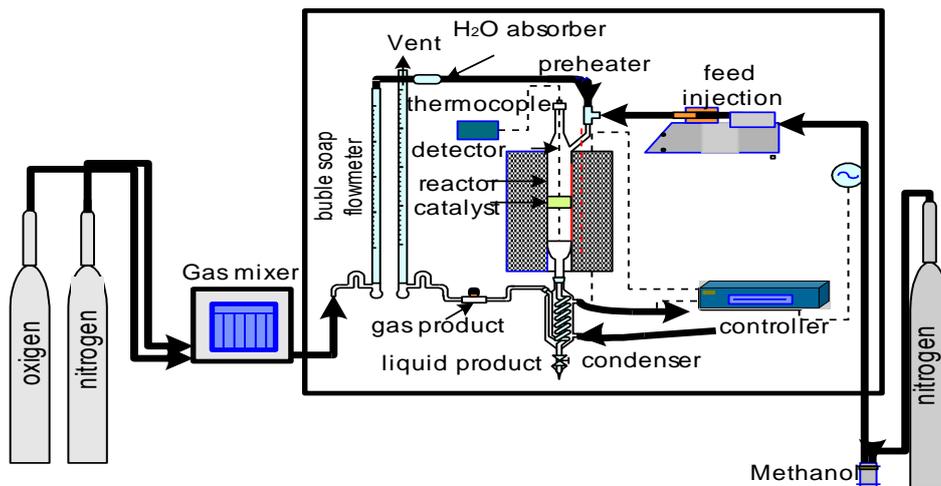
Katalis disiapkan dengan metode impregnasi yaitu: dengan cara mendepositkan garam  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (*ammonium heptamolibdat*) pada masing-masing penyangga  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{SiO}_2$ . Garam  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dengan kandungan  $\text{MoO}_3$  of 25% dan 50% : penyangga, dilarutkan dalam air kemudian diaduk selama 1 jam. Kemudian dicampur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  selama 2 jam. Campuran dikeringkan pada suhu 110°C selama 4 jam. Selanjutnya kristal dikalsinasi pada suhu 400°C selama 6 jam dengan dialiri udara. Kemudian dikarakterisasi dengan alat XRD untuk identifikasi fasa kristal yang terbentuk.

### Uji Kinerja Katalis

Reaksi uji kinerja katalis dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap (*fixed bed tubular reactor*). Katalis dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 0,5 gram sebagai unggun tetap. Reaktor dipanaskan sampai suhu konstan. Campuran udara dan etanol diumpankan ke dalam reaktor dengan rasio udara:etanol 19,7; waktu tinggal 14.76 ( $\text{g}_{\text{kat}}\cdot\text{jam}/(\text{mol}_{\text{EtOH}})$ ), temperatur 150, 175, 200, 225, 250, 275, dan 300°C; dan tekanan atmosfer. Produk didinginkan dalam kondensor sehingga diperoleh produk cair. Skema rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 1.

### Analisa Produk

Hasil keluaran reaktor dianalisis menggunakan *Gas Chromatograph* GC-8A buatan Shimadzu untuk mendeteksi dan menentukan fraksi mol produk. Analisis ini



Gambar 1 . Skematik reaktor oksidasi etanol menjadi asetaldehida

menggunakan detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*) dengan kolom porapak Q 80/100 mesh. Analisis produk dilakukan pada temperatur kolom  $100^{\circ}C$  dan temperatur injektor  $130^{\circ}C$ .

dimana:  
 $C_2H_5OH$  = etanol (sebagai reaktan)  
 $C_2H_4O$  = asetaldehida (sebagai produk)

### Penentuan Konversi, Selektivitas, dan Yield

Konversi (X) adalah perbandingan mol reaktan yang bereaksi dengan mol reaktan yang masuk. Selektivitas (S) adalah perbandingan mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang bereaksi. Sedangkan *yield* (Y) adalah perbandingan mol produk yang terbentuk dengan mol reaktan yang masuk. Konversi, selektivitas, dan *yield* ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

#### a. Penentuan Konversi Etanol (X):

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{\text{mol } C_2H_5OH \text{ masuk} - \text{mol } C_2H_5OH \text{ keluar}}{\text{mol } C_2H_5OH \text{ masuk}} \times 100\% \quad (6)$$

#### b. Penentuan Selektivitas Asetaldehida (S):

$$S_{C_2H_4O} = \frac{\text{mol } C_2H_4O \text{ keluar}}{\text{mol } C_2H_5OH \text{ masuk} - \text{mol } C_2H_5OH \text{ keluar}} \times 100\% \quad (7)$$

#### c. Penentuan Yield Asetaldehida (Y) :

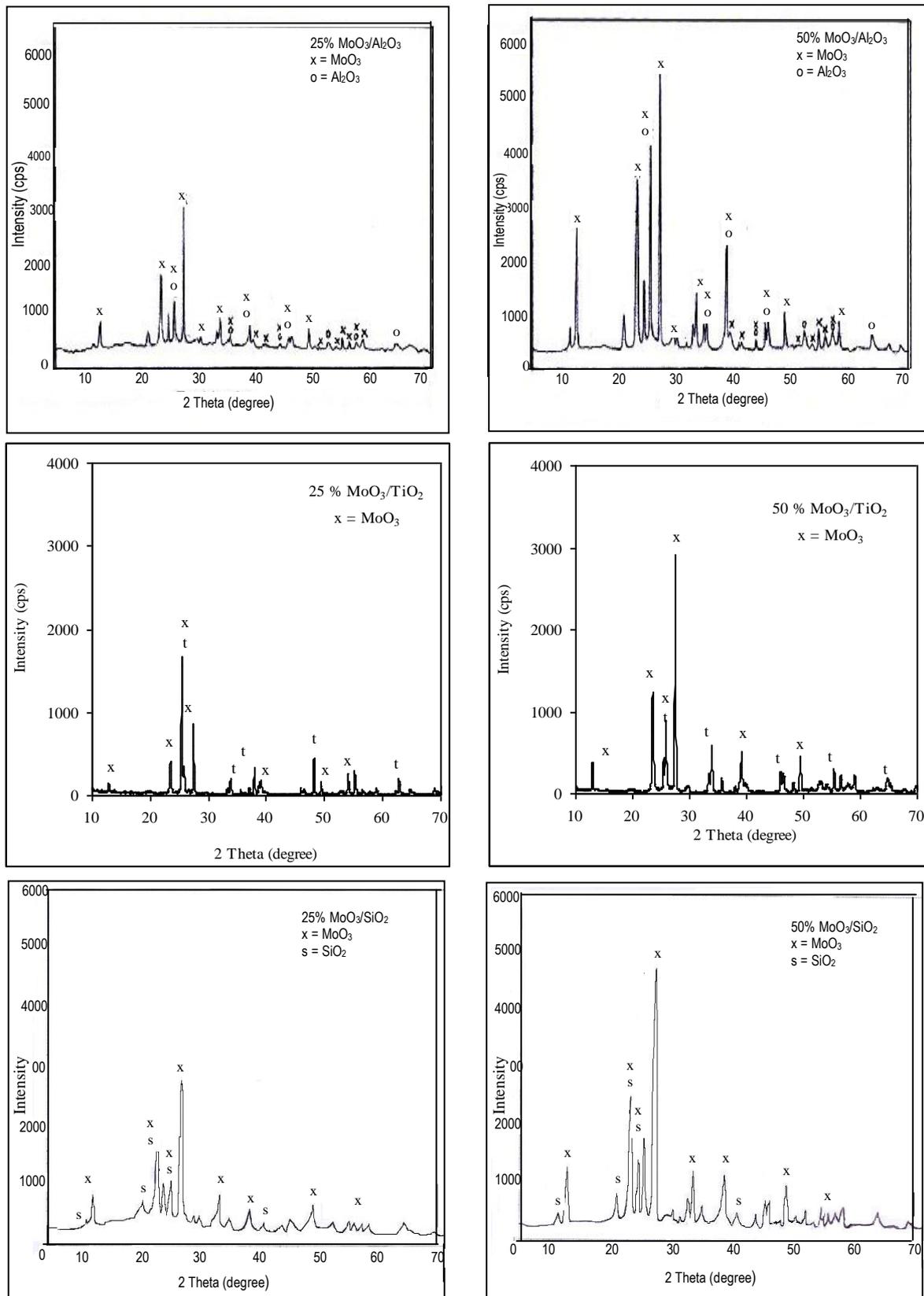
$$Y_{C_2H_4O} = \frac{\text{mol } C_2H_4O \text{ keluar}}{\text{mol } C_2H_5OH \text{ masuk}} \times 100\% \quad (8)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Identifikasi dengan XRD

Identifikasi fasa kristal dari katalis ditentukan dengan alat *x-Ray diffractometer* (XRD) di Laboratorium XRD Jurusan Kimia UGM. Grafik XRD yang diperoleh memiliki nilai  $2\theta$  dari  $10-70^{\circ}$  dengan ukuran *scanning step*  $0,02^{\circ}$ . Hasil karakterisasi dengan XRD katalis  $MoO_3/Al_2O_3$  dan  $MoO_3/TiO_2$  disajikan pada Gambar 2.

Dari spektrum XRD (Gambar 2) tampak bahwa komponen katalis terdiri dari senyawa  $MoO_3$ ,  $Al_2O_3$  dan  $TiO_2$  dengan komponen terbanyak kristal  $MoO_3$ . Tiga puncak utama karakteristik  $MoO_3$  terdapat pada  $2\theta = 25,79$ ;  $2\theta = 27,42$ ; dan  $2\theta = 39,0$  derajat. Tiga puncak utama karakteristik  $Al_2O_3$  terdapat pada  $2\theta = 25,69$ ;  $2\theta = 39,24$ ; dan  $2\theta = 46,31$  derajat. Sedangkan tiga puncak utama karakteristik  $TiO_2$  terdapat pada  $2\theta = 25,39$ ;  $2\theta = 48,13$ ; dan  $37,88$  derajat. Beberapa puncak karakteristik  $MoO_3$  terlihat menumpuk dengan  $Al_2O_3$  dan  $TiO_2$ .



**Gambar 2.** Difraktogram XRD katalis MoO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> dan MoO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>

Dari difraktogram juga terlihat bahwa kenaikan kadar Mo pada preparasi katalis menghasilkan intensitas puncak  $MoO_3$  semakin tinggi. Intensitas yang semakin tinggi ini menunjukkan jumlah kristal  $MoO_3$  yang terbentuk lebih banyak. Dari spektrum xrd dapat disimpulkan bahwa pembuatan katalis berhasil dengan baik, karena senyawa-senyawa yang diharapkan telah terbentuk.

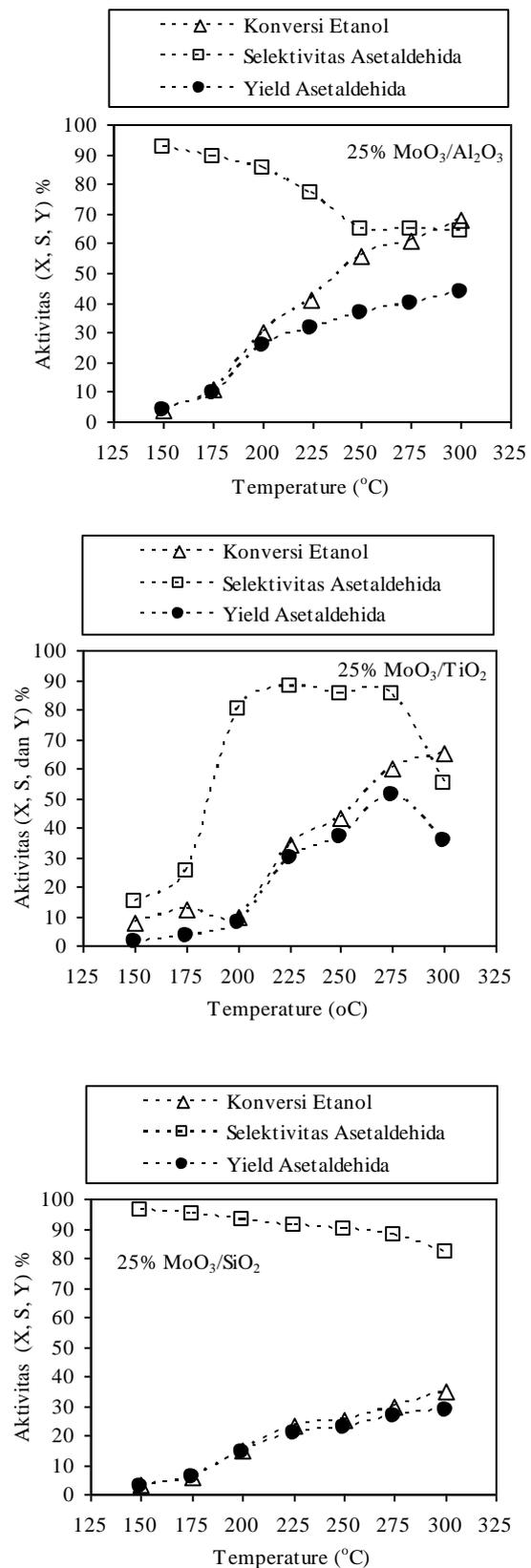
### Aktivitas Katalis

Pengujian kinerja katalis dilakukan terhadap reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Reaksi dilangsungkan pada 150-300°C dan tekanan atmosfer. Kinerja katalis secara kuantitatif ditinjau dari aktivitas katalis, diwakili oleh konversi, selektivitas, dan *yield*.

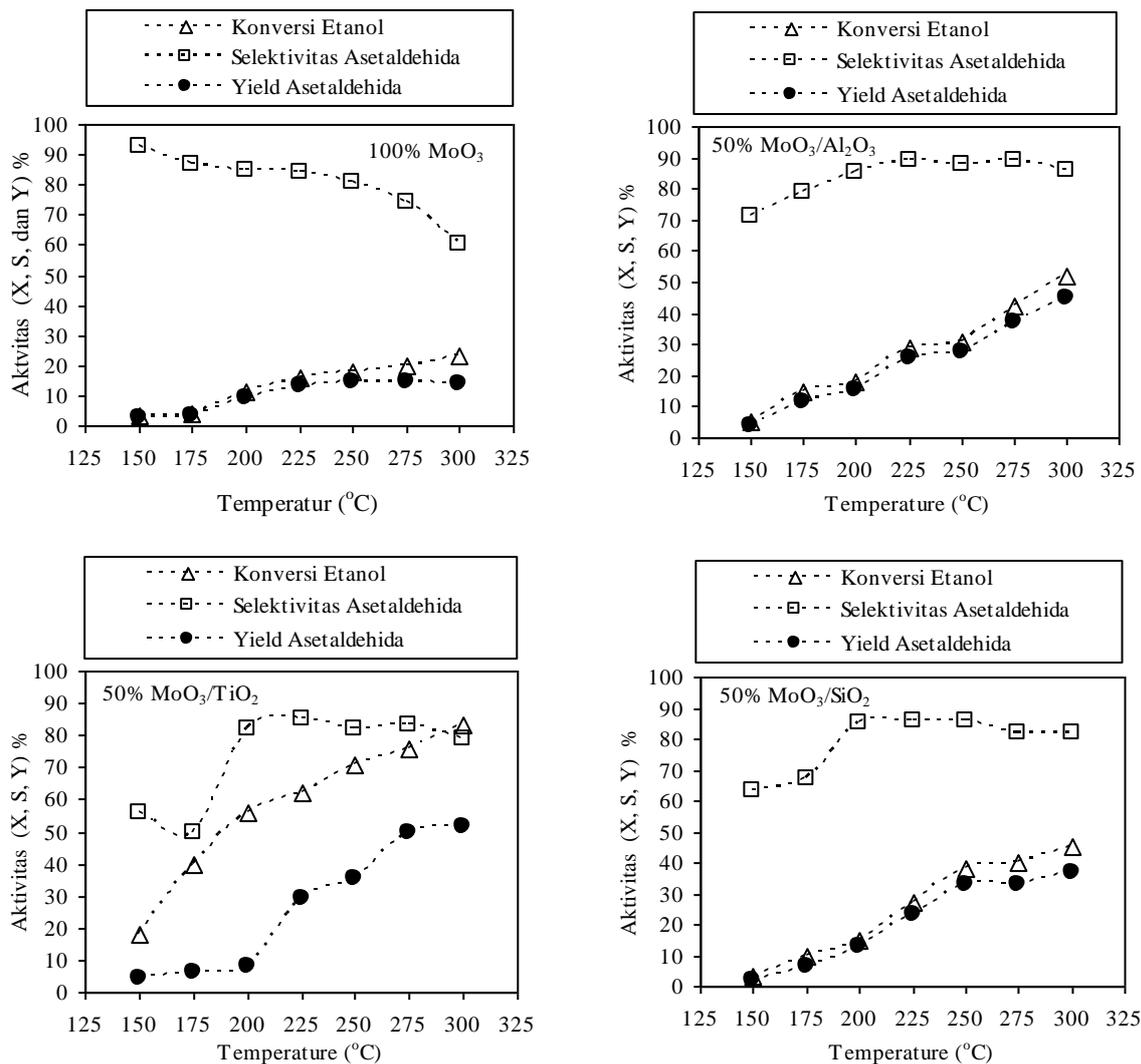
Katalis dibedakan dalam dua kategori yaitu: kadar Mo rendah (25%Mo/ $Al_2O_3$ , 25%Mo/ $TiO_2$ , dan 25%Mo/ $SiO_2$ ) dan kadar Mo tinggi (50%Mo/ $Al_2O_3$ , 50%Mo/ $TiO_2$ , dan 50%Mo/ $SiO_2$ ).

Gambar 3 merupakan hubungan temperatur reaksi terhadap konversi, selektivitas dan *yield* untuk katalis 25%Mo/ $Al_2O_3$ , 25%Mo/ $TiO_2$ , dan 25%Mo/ $SiO_2$ . Gambar 3.3 merupakan hubungan temperatur reaksi terhadap konversi, selektivitas dan *yield* untuk katalis 50%Mo/ $Al_2O_3$ , 50%Mo/ $TiO_2$ , dan 50%Mo/ $SiO_2$ , serta  $MoO_3$  tanpa penyangga. Penggunaan ke tiga jenis penyangga ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , dan  $SiO_2$ ) tanpa  $MoO_3$  dalam reaksi, tidak menghasilkan produk asetaldehida sama sekali.

Selama reaksi berlangsung tampak bahwa asetaldehida merupakan produk utama yang terbentuk meskipun produk samping tidak diidentifikasi.  $MoO_3$  tanpa penyangga memiliki konversi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan katalis berpenyangga. Konversi kedua jenis katalis (Mo rendah dan Mo tinggi) untuk penggunaan ketiga penyangga menunjukkan kecenderungan yang hampir sama yaitu:  $TiO_2 > Al_2O_3 > SiO_2$ .



**Gambar 3.** Konversi, selektivitas, dan yield untuk oksidasi etanol pada berbagai temperatur menggunakan katalis 25%  $MoO_3$  berpenyangga  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , dan  $SiO_2$



**Gambar 4.** Konversi, selektivitas, dan yield untuk oksidasi etanol pada berbagai temperatur menggunakan katalis 50% MoO<sub>3</sub> berpenyangga Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> dan MoO<sub>3</sub> murni

Membandingkan antara masing-masing penyangga terlihat bahwa 25% MoO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memberikan konversi etanol lebih besar dari 50% MoO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sedangkan penyangga TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub> tampak bahwa konversi lebih besar dihasilkan pada sampel yang memiliki Mo 50%. Kecenderungan seperti ini pernah dilaporkan oleh Hungcun dan Israel (1995), yang menggunakan support Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> untuk oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Semakin banyak Mo yang diisi ke TiO<sub>2</sub>, aktivitas katalis semakin meningkat, sedangkan semakin banyak Mo yang diisi ke Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aktivitas katalis semakin menurun.

Dari penelitian itu juga dilaporkan bahwa penggunaan TiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> murni, tidak menghasilkan formaldehida sama sekali. Kemungkinan produk yang dihasilkan adalah dimetil eter (Hungcun dan Israel, 1995).

Selektivitas dari semua jenis katalis MoO<sub>3</sub> sangat dipengaruhi oleh Mo yang diisi pada penyangga. Penggunaan katalis 25% MoO<sub>3</sub> pada penyangga TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub> memiliki selektivitas ke asetaldehida lebih tinggi dari katalis yang diisi 50% Mo. Penggunaan katalis MoO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terlihat memiliki selektivitas yang hampir sama baik yang diisi Mo rendah maupun tinggi.

Selektifitas asetaldehida tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis 25%  $Mo/SiO_2$ , berkisar 82-96%. Akan tetapi, penggunaan katalis 50%  $MoO_3$  pada penyangga  $TiO_2$  dan  $SiO_2$  terlihat selektivitas ke asetaldehida lebih stabil hingga suhu  $300^\circ C$ . *Yield* asetaldehida yang tinggi dihasilkan pada penggunaan katalis  $Mo/TiO_2$ , reaksi dilangsungkan pada suhu antara 250-  $300^\circ C$  sekitar 51%.

Kenaikan suhu menyebabkan meningkatnya konversi metanol. Peningkatan konversi karena pada suhu yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih besar sehingga dapat mempercepat reaksi. Kenaikan konversi ini sesuai dengan hukum Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur maka laju reaksi semakin tinggi (Froment, 1990). Konversi etanol tertinggi diperoleh pada penggunaan penyangga  $TiO_2$  mencapai 83% pada suhu reaksi  $300^\circ C$ . Akan tetapi, dengan kenaikan suhu cenderung menurunkan selektivitas. Penurunan selektivitas ini disebabkan karena pada suhu tinggi energi yang diberikan lebih banyak sehingga orientasi tumbukan antar reaktan menjadi lebih sempuna. Hal ini menyebabkan terjadi reaksi lanjut membentuk produk samping. Reaksi oksidasi etanol sangat eksotermis sehingga pada suhu yang lebih tinggi sangat mudah terjadi oksidasi total membentuk produk samping. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Zang dkk,(1995), bahwa semakin tinggi suhu reaksi, kemungkinan  $CO_x$  yang akan terbentuk karena oksidasi lanjut semakin tinggi. Penurunan selektivitas juga dapat disebabkan oleh deaktivasi katalis pada suhu yang lebih tinggi. Hal ini dilaporkan oleh Husin dkk, (2002), bahwa  $MoO_3$  pada suhu yang lebih tinggi akan mudah tersublimasi sehingga fasa aktif semakin berkurang atau rusak.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### *Kesimpulan*

Dari hasil pembahasan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan. Baik konversi

maupun selektivitas, dipengaruhi oleh jenis penyangga dan kadar Mo yang diisi ke penyangga. Konversi etanol tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis 25%  $Mo/SiO_2$  yaitu 83%. Selektifitas asetaldehida tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis 25%  $Mo/SiO_2$  yaitu mencapai 96%. Kenaikan suhu reaksi menyebabkan naiknya konversi, tetapi, cenderung menurunkan selektivitas formaldehida. *Yield* asetaldehida tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis  $Mo/TiO_2$ , reaksi dilangsungkan pada suhu antara 250-  $300^\circ C$  sekitar 51%

### *Saran*

Hasil penelitian ini belum memuaskan, sehingga masih perlu penelitian lanjutan dengan mengevaluasi karakteristik katalis lebih jauh seperti: luas permukaan, struktur permukaan dihubungkan dengan aktivitasnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada proyek Penelitian Dasar P2IPT/DPPM/PID/III/2004 DIKTI yang berkenan mendanai penelitian ini dan Universitas Syiah Kuala yang telah menyediakan fasilitas laboratorium. Dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Muna Raihana dan Nazaruddin, atas semua bantuannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous, 1999, Perkembangan dan Prospek Industri Etanol Di Indonesia, Konsumsi Oleh Industri Asetaldehid, Indochemical, Jakarta.
- Bernutti, E.V., and Gushikem, Y. 1998, Comparative Study on Catalytic Study Oxidation of Ethanol to Acetaldehyde Using Fe (III) Dispersed on  $Sb_2O_5$ ,

- Journal of Brazilian Society*, vol 9, no. 5, p. 469-472
- Filho, R. M. and Domingues, 1992, Multitubular Reactor for Obtention of Acetaldehyde by Oxidation of Ethyl alcohol, *Chemical Engeneering Science*, vol 47 no. 9.
- Froment, G.F and K.B. Bischoff, 1990, *Chemical Reactor Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Hungcun, H. dan Israel, E., 1995, Catalytic Properties of supported Molybdenum Oxide Catalyst: Insitu Raman and Methanol Oxidation Studies, *Journal of Physical Chemistry*, vol 99, no, 27 p 10911-10922.
- Husin, H. Subagjo, dan Makertiharta IGBN, 2002, Studi Deaktivasi Pada Katalis Besi Molibdate, *Jurnal Itenas*, vol.6, no. 1, hal.: 10 – 14, Bandung
- Husin, H. Fikri Hasfita, dan Novi Metia, 2002, Preparasi Katalis Besi Molibdenum Oksida dengan Metode Presipitasi, *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Surabaya*, hal. KR.09-1-KR.09-7
- Mairiza dan Husin, H., Oksidasi Etanol menggunakan Katalis Besi Molibdenum Oksida, *Laporan Penelitian*, Teknik Kimia Unsyiah.
- Kirk Othmer, 1994, Ethanol, *Encyclopedia of Chemical Technology*, fourth edition, II, John wiley & Sons Inc, New York.
- Legendre, M. And Cornet D., 1972, Catalytic Oxidation of Ethanol over Tantalum Oxide, *Journal of Catalysis*, Vol 25, p. 194-203.
- Piccoli, Ricardo Luis, 1992, Kinetic Study of Methanol Selective Oxidation to Formaldehyde on Iron Molybdate Catalyst, *Research Report*, Laboratorium voor Petrochemische Techniek, Fakulteit der Toegepaste Wetenschappen, Universiteit Gent.
- Viswanath, Dabir S. dan Voruganti Srihari, 1982, Oxidation of Methanol Over Molybdate Catalyst, *Journal of Chemical Technology of Biotechnology.*, vol.32, hal 868.
- Zhang W., Desikant, A., and Oyama, S.T, 1995, Effec of Support in Ethanol Oxidation on Molybdenum Oxide, *Journal of Physical Chemistry*, 99, no. 39, p 14468-14476.